

پخش بار اقتصادی پویا با استفاده از الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات بهبود یافته

علیرضا خسروی^۱، سید اصغر غلامیان^۲ و محمد یزدانی اسرمی^۳

^۱ دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، akhosravi@nit.ac.ir

^۲ دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، gholamian@nit.ac.ir

^۳ دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، yazdani@stu.nit.ac.ir

چکیده - یکی از مهمترین موضوعات در بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، پخش بار اقتصادی با کمترین هزینه تولید می‌باشد یک مسئله بهینه‌سازی مقید غیرخطی و پیچیده است. برای حل مسئله پخش بار پویا، فرض بر این است که یک توزیع واحد گرمایی قبلاً تعیین شده است. از هنگامی که پخش بار اقتصادی پویا معرفی شد، روش‌های متعددی برای حل این مشکل معرفی شدند؛ با این حال، همه‌ی این روش‌ها ممکن است نتوانند یک راه حل بهینه برای حل مسئله بیابند و معمولاً در یک بهینه محلی با مشکل روبرو می‌شوند. در این مقاله، یک الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات بهبود یافته (*IPSO*) برای حل مسئله پخش بار اقتصادی پویا پیشنهاد شده است. از این الگوریتم برای حل یک مسئله پخش بار اقتصادی پویای پیچیده، شامل یک سیستم قدرت ۶ واحد با درخواست بار ۲۴ ساعته در فواصل زمانی یک ساعته استفاده شده است. مقایسه نتایج روش *IPSO* با روش‌های دیگر توانایی روش *IPSO* برای رسیدن به راه حل‌های بهتر را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها - پخش بار اقتصادی پویا، الگوریتم تجمعی ذرات، تلفات توان

۱. مقدمه

(DELD) را ناگزیر می‌سازد. پخش بار اقتصادی پویا (DELD)، روشی برای برنامه ریزی خروجی‌های آنلاین ژنراتور با بارهای درخواستی پیش بینی شده در طی یک بازه زمانی معین است، تا اینکه از سیستم قدرت الکتریکی به اقتصادی‌ترین شکل ممکن بهره‌برداری شود. قیود اعمالی بر عملکرد سیستم یعنی نرخ شیب ژنراتور، منجر به ایجاد یک مسئله بهینه سازی پویا می‌گردد. روش پخش بار اقتصادی پویا نه تنها دقیق‌ترین راه برای فرموله کردن پخش بار، بلکه به علت ابعاد بزرگش، سخت‌ترین روش برای حل می‌باشد. عموماً برای حل مسئله، ابتدا کل دوره‌ی زمانی پخش به تعدادی بازه‌ی زمانی کوچک تقسیم شده و سپس از پخش بار اقتصادی ایستا برای حل مسئله در هر بازه زمانی استفاده می‌گردد [۱-۸].

در دهه های اخیر روش های بسیاری برای حل مسئله پخش بار اقتصادی پویا توسعه داده شد. عمده ترین روش‌ها

مسئله تخصیص بار درخواستی مشتری از میان واحدهای تولید برق حرارتی در دسترس، از راهی اقتصادی، امن و قابل اطمینان، توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. این مسئله به صورت حداقل کردن هزینه سوخت، تحت محدودیت درخواست بار و قیود مختلف دیگر، در یک بازه زمانی معین، فرموله شده است. این مسئله به عنوان پخش بار اقتصادی ایستا شناخته شده است. پخش بار اقتصادی ایستا فقط می‌تواند یک سطح بار در یک لحظه معین را تحلیل کند. با این حال، به علت محدودیت‌های ژنراتورها، ممکن است برای انواع مختلفی از درخواست بار، جوابگو نباشد؛ بعلاوه دارای قابلیت پیش بینی نمی‌باشد. تنوع زیاد بار درخواستی مشتریان و طبیعت پویای سیستم‌های قدرت، تحقیقات حول مسئله پخش بار اقتصادی پویا

برداری می‌باشد که بصورت قیود تساوی و نابرابری توصیف می‌گردند.

قید تساوی (بدون تلفات):

$$\sum_{i=1}^n P_{i,t} = P_{D,t} \quad (1)$$

قید نابرابری:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (2)$$

که $P_{i,t}$ توان خروجی ژنراتور i^{th} در بازه زمانی t^{th} برحسب MW، $P_{D,t}$ کل توان مورد تقاضا در بازه‌ی زمانی t^{th} برحسب MW، P_i^{\min} حد پایینی و P_i^{\max} حد بالایی تولید واحد i^{th} برحسب MW و همچنین n تعداد واحدهای تولید برق می‌باشد. در مسائل پیچیده‌تر، تلفات انتقال (P_L) به معادله (۱) اضافه می‌گردد: P_L به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (3)$$

محاسبه‌ی ضرایب B در [۳۷] شرح داده شده است. بنابراین با جایگزینی معادله (۳) در معادله (۱) معادله (۴) را خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \quad (4)$$

هزینه‌ی سوخت هر ژنراتور به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (5)$$

که F_i هزینه سوخت و a_i و b_i و c_i ضرایب هزینه‌ی ژنراتور i^{th} می‌باشند. مدل‌های دقیق‌تر شامل قیود نرخ شیب می‌باشند که به صورت زیر مدل می‌گردند:

(الف) هنگامی که تولید افزایش می‌یابد:

$$P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad (6)$$

(ب) هنگامی که تولید کاهش می‌یابد:

$$P_i^0 - P_i \leq DR_i \quad (7)$$

بنابراین معادله (۲) می‌تواند به صورت زیر تصحیح شود:

$$\text{Max}(P_i^{\min}, P_{i,t}^0 - DR_i) \leq P_{i,t} \leq \text{min}(P_i^{\max}, P_{i,t}^0 + UR_i) \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad t = 1, 2, \dots, T$$

شامل برنامه نویسی خطی (LP) [۹]، برنامه نویسی غیرخطی (NLP) [۱۰]، روش لاگرانژ (LR) [۱۱]، الگوریتم برنامه نویسی کوادراتیک (QP) [۱۲-۱۳] و برنامه نویسی پویا [۱۴] می‌باشند. این روش‌ها، بخاطر غیرخطی و غیرمحدب بودن مشخصات واحدهای تولید، برای حل بهینه مسائل با مشکلاتی روبرو بوده‌اند. تکنیک‌های بهینه سازی تصادفی و احتمالی ابتکاری مانند بهینه سازی تجمع ذرات (PSO) [۱۵-۱۶]، جستجوی ممنوع (TS) [۱۹]، الگوریتم ژنتیک (GA) [۲۰-۲۶]، شبیه سازی تبرید فلزات (SA) [۲۷]، شبکه‌های عصبی هوفیلد (HNN) [۲۸-۳۰]، برنامه نویسی تکاملی (EP) [۳۱-۳۵] و روش برنت [۳۶] به علت توانایی‌شان در حل مسئله پخش بار اقتصادی پویا بدون هرگونه محدودیتی در شکل منحنی‌های هزینه، که ناشی از توانایی‌شان در جستجوی راه حل بهینه است، موثر به نظر می‌رسند.

در این مقاله، برای پخش بار اقتصادی پویا از روش جدیدی برپایه هوش جمعی استفاده شده است. در این روش، نسخه جدیدی از PSO ارائه گردید. برای ترکیب مسئله IPSO با پخش بار اقتصادی، تعدادی از واحدهای تولید به عنوان ابعاد مسئله در نظر گرفته می‌شوند. در تکرارهای مختلف، خروجی‌های قدرت واحدهای تولید نسبت به قیود سیستم محاسبه می‌شوند. یکی از واحدها به طور اتفاقی به عنوان ژنراتور اصلی انتخاب می‌گردد و تا اختلاف بین بار مورد تقاضا و کل بار تولیدی را جبران کند. نتایج روش ارائه شده برای یک سیستم آزمایشی شش واحد ارائه شده است.

۲. فرمول‌سازی مسئله پخش بار اقتصادی پویا

پخش بار اقتصادی پویا موضوع مهمی در عملکرد سیستم قدرت است و مقالات متعددی در باب این مسئله در مجلات علمی معتبر به چاپ رسید. در هر زیر بازه‌ی زمانی، کل برق تولیدی برای تغذیه بار درخواستی با حداقل هزینه‌ی بهره برداری تنظیم می‌گردد که تولید واحدهای فسیلی پرهزینه را بهینه می‌سازد. یک مسئله پخش بار اقتصادی پویا ساده، از چند تابع پیوسته تشکیل شده است که می‌تواند با روش‌های ریاضی حل شود. مسئله پخش بار اقتصادی پویا شامل قیود فیزیکی و بهره

دست آمده است. این بهترین مقدار سراسری است که "Gbest" نامیده می شود. بعد از یافتن دو مقدار بهترین، ذره، سرعت و موقعیتش را براساس معادلات زیر به روزرسانی می کند:

$$V_{t+1} = W \times V_t + C_1 \times r \times (P_{pb} - X_{cs}) + C_2 \times r \times (P_{gb} - X_{cs}) \quad (10)$$

$$X_{t+1} = X_t + V_{t+1} \quad (11)$$

الگوریتم تجمع ذرات بهبود یافته به دو توپولوژی اصلی تقسیم می گردد: سراسری و محلی. بررسی های زیادی نشان می دهد که نسخه های سراسری پوشش فضای جستجوی بدتری نسبت به PSO محلی دارد، همچنین در نسخه های سراسری حرکت ذرات حول یک راه حل متمرکزترند و در نتیجه سریع تر می توانند بهترین راه حل را پیدا کنند. مشکل کوچکی که ممکن است برای نسخه محلی پیش بیاید این است که نسبت به مینیمم های محلی بسیار تاثیر پذیرتر اند. به طور کلی ورژن سراسری، بخاطر سرعت و دقتش، هنگامی که فضای راه حل خیلی پراکنده نیست راه حل بهتریست. شبه کد الگوریتم PSO عبارت است از:

برای هر ذره
به ذره مقدار اولیه بده
پایان
تکرار کن برای هر ذره
تابع هدف را تعیین کن و مقدار برازندگی را محاسبه کن.
اگر مقدار برازندگی بهتر از بهترین مقدار برازندگی Pbest در حافظه است مقدار حاضر را بعنوان Pbest جدید قرار بده.
پایان تکرار
ذره ای که دارای بهترین مقدار برازندگی در بین تمام ذرات است را به عنوان Gbest انتخاب کن.
تکرار کن برای هر ذره
براساس معادله (۱) سرعت ذره را بروزرسانی کن.
براساس معادله (۲) موقعیت ذره را بروزرسانی کن.
پایان

وزن اینرسی ضریب دیگری است که تغییر در آن می تواند باعث ایجاد ورژن جدیدی از PSO گردد. در این حالت، مقدار

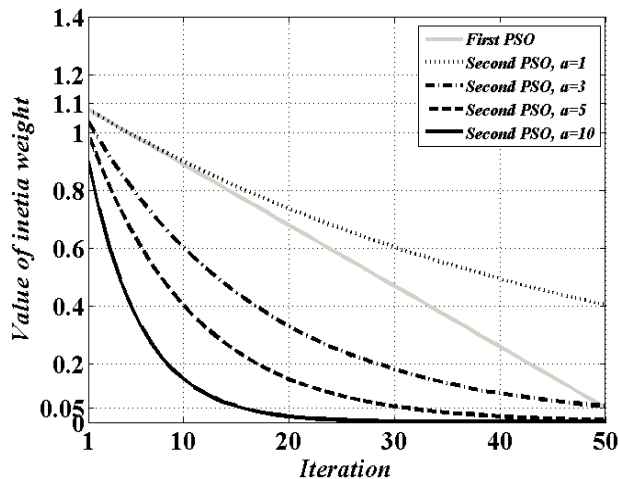
که DR_i و UR_i به ترتیب قیود نرخ شیب بالا و نرخ شیب پایین ژنراتور i^{th} می باشند.

در نهایت، حداقل کردن تابع هزینه، هدف حل مسائل توزیع اقتصادی بار پویا می باشد:

$$\min f = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^n F_{i,j}(P_{i,j}) \quad (9)$$

۳. الگوریتم تجمعی ذرات بهبود یافته

هوش جمعی، یکی از زیرشاخه های تحقیق درباره هوش مصنوعی است. مفهوم تجمع ذرات از شبیه سازی سیستم اجتماعی ساده شده نشأت گرفته است. هدف اصلی شبیه سازی گرافیکی نحوه حرکت گروهی پرندگان یا ماهی ها یا ذرات است. بهینه سازی به روش تجمع ذرات (PSO) از سناریوی خاصی پیروی می کند: فرض کنید که گروهی از پرندگان در ناحیه ای بصورت تصادفی به دنبال غذا می گردند ناگهان یکی از آنها تکه ای غذا پیدا می کند. پرندگان دیگر از محل غذا اطلاع ندارند، اما آنها می دانند که کدام پرنده غذا را پیدا کرده و چقدر با آنها فاصله دارد. بنابراین بهترین استراتژی این است که نزدیکترین پرنده به غذا تعقیب شود. با استفاده از این سناریو از PSO می توان برای حل مسائل بهینه سازی استفاده کرد. در PSO هر راه حل یک "پرنده" در فضای مورد جستجو است، که در اینجا "ذره" نامیده می شود. برای همه ذرات ضریب برازندگی محاسبه شده است که توسط تابع برازندگی برای بهینه شدن محاسبه می گردد و دارای سرعتی می باشد که پرواز ذرات را هدایت می کند. ذرات در فضای مسئله، با تعقیب ذرات بهینه حاضر "پرواز" می کنند. بهینه سازی تجمع ذرات با گروهی از ذرات (راه حل های) تصادفی شروع می گردد و سپس با به روزرسانی بدنبال حالت بهینه می گردد. در هر تکرار هر کدام از ذرات با تعقیب دوتا از "بهترین" مقادیر به روزرسانی می گردد. اولی بهترین (برازنده ترین) راه حلی شخصی است که تاکنون به دست آمده است (مقدار برازنده هم ذخیره می گردد) این مقدار "Pbest" نامیده می شود. مقدار "بهترین" دیگر که توسط بهینه سازی تجمع ذرات ردیابی می شود بهترین مقداری است که تاکنون توسط هر کدام از ذرات در جمعیت به-



شکل (۱): اثر ضریب α بر تغییرات ضریب اینرسی

۴. شبیه سازی و بحث و بررسی نتایج

در این مقاله، برای کمینه سازی کل هزینه سوخت واحدهای تولیدی ارائه شده است. پیاده سازی IPSO برای این مسئله شامل مراحل زیر می باشد:

گام (۱):

مقداردهی اولیه: تعداد ذرات، ابعاد فضای جستجو (تعداد ژنراتورها)، و کل بارهای مورد تقاضا در هر بازه زمانی $(P_{D,t})$ مقدار اولیه داده می شوند.

در این گام، کل بار مورد تقاضا (P_D) و تلفات خط انتقال (P_L) باید در نظر گرفته شوند، به طوری که کل برق تولیدی خروجی $(P_D + P_L)$ تامین گردد.

$$\sum_{j=1}^n m_{ij} = P_D + P_L \quad (13)$$

گام (۲):

تعیین محدودیتهای ژنراتور و ضرایب تابع هزینه: واحدهای تولید دارای محدودیتهایی در تولید برق می باشند، بنابراین این قیود باید در مسائل پخش بار در نظر گرفته شوند. معادلات زیر محدودیتهایی تولید واحد i^{th} را نسبت به قید نرخ شیب آن بیان می کند:

$$\max(m_i^{\min}, m_{i,t}^0 - DR_i) \leq m_{i,t} \leq \min(m_i^{\max}, m_{i,t}^0 + UR_i) \quad (14)$$

گام (۳):

تولید تصادفی جمعیت اولیه: برای شروع IPSO یک تعداد

تگانه ای که یک ذره در بین دو تکرار حمل می کند، می تواند با پارامتر W کنترل شود، که به وسیله سرعت حال حاضر ذره چند برابر می شود، همان طوری که در معادله (۱۰) دیده می شود. در حقیقت، این پارامتر کنترل بر ناحیه جستجوی ذره تاثیر می گذارد. بنابراین اندازه این پارامتر می تواند نقش مهمی در روند جستجو بازی کند. استفاده از مقدار بالا و ثابتی از وزن اینرسی (یعنی بالاتر از واحد) می تواند فضای بیشتری را پوشش دهد اما اغلب، PSO در حداقل های محلی حبس شده و نمی تواند بهترین راه حل را پیدا کند. از طرفی دیگر مقدار کمتری از این پارامتر منجر می شود که ذرات در فضای جستجوی کوچکی متمرکز شوند و PSO، دیگر فضاهای ممکن راه حل را از دست می دهد. در این مقاله با استفاده از معادلات مختلف برای وزن اینرسی، نسخه بهبود یافته ای از PSO ارائه شده اند. همان طور که قبلاً ذکر شد استفاده از مقدار ثابت نامناسب برای این پارامتر کنترل، ممکن است منجر به نتایج نامناسب گردد. بنابراین یک ایده، استفاده از معادله ای برای وزن اینرسی است که به تعداد تکرارهای گذشته بستگی دارد، تا اینکه در حین روند جستجو، وزن اینرسی کاهش یابد. در گام آغازین، استفاده از مقدار بالا برای وزن اینرسی می تواند به PSO کمک کند تا تمام نواحی فضای راه حل را با صرف زمان و افزایش تعداد تکرارها افزایش دهد. در نتیجه وزن اینرسی کاهش خواهد یافت؛ این می تواند به PSO کمک کند تا در تکرارهای آخر، جستجوی محلی خوبی را ارائه دهد.

فرمول وزن اینرسی، همان طور که در معادله (۱۲) نشان داده شده، می تواند به صورت نمایی باشد. با استفاده از این معادله، PSO با یک مقدار داده شده شروع و به صورت نمایی تا نزدیکی صفر کاهش می یابد.

$$W = w_{\max} e^{-\frac{\alpha t}{T}} \quad (12)$$

که w_{\max} ماکزیمم مقدار وزن اینرسی است. ضریب α یک ثابت با مقدار مثبت است که مقدار آن می تواند شیب متغیرها را کنترل کند. این امر در شکل (۱) نشان داده شده است.

است که مقادیر اولیه برای سایر بازه‌های زمانی (بازه زمانی بعدی) همان مقادیر بازه قبلی هستند. همچنین جدول ۳، قدرت مورد تقاضا برای یک افق زمانی ۲۴ ساعته را در بازه‌های زمانی یک ساعته نشان می‌دهد.

ماتریس ضرایب تلفات مربوط به معادله (۳) در زیر آمده است:

$$B_{ij} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 1.7 & 1.2 & 0.7 & -0.1 & -0.5 & -2.0 \\ 1.2 & 1.4 & 0.9 & 0.1 & -0.6 & -0.1 \\ 0.7 & 0.9 & 3.1 & 0.0 & -1.0 & -0.6 \\ -0.1 & 0.1 & 0.0 & 0.24 & -0.6 & -0.8 \\ -0.5 & -0.6 & -0.1 & -0.6 & 12.9 & -0.2 \\ -2.0 & -1.0 & -0.6 & -0.8 & -0.2 & 15.0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

جدول ۱: اطلاعات ژنراتورها و ضرایب هزینه یک سیستم شش واحد

شماره واحد	حداقل توان (مگاوات)	حداکثر توان (مگاوات)	a (دلار بر مگا وات)	b (دلار بر مگا وات)	c (دلار بر مگا وات)
۱	۱۰۰	۵۰۰	۰/۰۰۷	۷	۲۴۰
۲	۵۰	۲۰۰	۰/۰۰۰۹۵	۱۰	۲۰۰
۳	۸۰	۳۰۰	۰/۰۰۹	۸/۵	۲۲۰
۴	۵۰	۱۵۰	۰/۰۰۹	۱۱	۲۰۰
۵	۵۰	۲۰۰	۰/۰۰۸	۱۰/۵	۲۲۰
۶	۵۰	۱۲۰	۰/۰۰۷۵	۱۲	۱۹۰

جدول ۲: حدود نرخ شیب سیستم شش واحد مورد مطالعه

شماره واحد	توان تولیدی اولیه (مگاوات)	حد بالای نرخ شیب (مگاوات بر ساعت)	حد پایین نرخ شیب (مگاوات بر ساعت)
۱	۳۴۰	۸۰	۱۲۰
۲	۱۳۴	۵۰	۹۰
۳	۲۴۰	۶۵	۱۰۰
۴	۹۰	۵۰	۹۰
۵	۱۱۰	۵۰	۹۰
۶	۵۲	۵۰	۹۰

نتایج IPSO برای یک سیستم آزمایشی با نتایج حاصل از روش‌های دیگر در جدول ۴ مقایسه شده است. نتایج حاصل از مقایسه نشان می‌دهند که برای حل یک مسئله پخش بار اقتصادی پویا، IPSO در رسیدن به راه حل‌های بهینه، سریعتر و دقیق‌تر است و می‌تواند بهتر از سایر روش‌ها عمل کند.

اولیه برای گروه‌ها یا جمعیت در داخل ناحیه تعیین می‌شود. در این مقاله، ناحیه عملی بین حداقل و حداکثر توان خروجی هر ژنراتور تعریف شده است.

گام (۴) :

محاسبه هزینه برای هر گروه: در اینجا هزینه تولید هر واحد با استفاده از الگوریتم پیشنهادی محاسبه می‌شود. همچنین قیود مسئله به روش زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{if } m_{i,t} \leq \max(m_i^{\min}, m_{i,t}^0 - DR_i), \quad (15)$$

$$\text{then } m_{i,t} = \max(m_i^{\min}, m_{i,t}^0 - DR_i);$$

$$\text{if } \min(m_i^{\max}, m_{i,t}^0 + UR_i) \leq m_{i,t}, \quad (16)$$

$$\text{then } \min(m_i^{\max}, m_{i,t}^0 + UR_i) = m_{i,t};$$

گام (۵) :

بروزرسانی پارامترهای IPSO

گام (۶) :

چک کردن ملاک توقف: در این مرحله ملاک توقف باید چک شود.

گام (۷) :

به‌روزرسانی خروجی توان هر ژنراتور: بعد از محاسبه حداقل هزینه، توان خروجی هر واحد مجدداً محاسبه و به‌عنوان مقدار اولیه برای بازه زمانی بعدی تعریف می‌گردد.

گام (۸) :

پایه سازی IPSO برای تمام بازه‌های زمانی: اگر پخش بار برای هر بازه زمانی به کار گرفته شود، نتایج (خروجی‌ها) IPSO برنامه زمان بندی شده ای برای تولید انرژی در سیستم قدرت خواهند بود.

در این بخش، IPSO برای حل مسئله پخش توان بهینه پویا در یک سیستم آزمایشی با شش واحد به کار گرفته شد و نتایج به دست آمده با روش‌های گزارش شده در سایر مقالات مقایسه شده است.

ضرایب هزینه و حدود مرزی واحدهای تولید در جدول ۱ نشان داده شدند [۱]. قیود حد نرخ شیب و قدرت اولیه تولید شده توسط هر واحد در جدول ۲ نشان داده شده است. بدیهی

[2] X. Xia, and A. M. Elaiw, Optimal dynamic economic dispatch of generation: A review, *Electric Power Systems Research (EPSR)*, Vol. 80, 2010, pp. 975-986.

[3] A. J. Wood, and B. F. Wollenberg, *Power generation, operation, and control*, (2nd Edition, New York: John Wiley and Sons Inc., 1996).

[4] J. A. Snyman, *Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms*, (Cambridge, Massachusetts: Springer Publishing, 2005).

[5] Q. Xia, Y. H. Song, B. M. Zhang, C. Q. Kang, and N. Xiang, Dynamic queuing approach to power system short term economic and security dispatch, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, May 1998, pp. 280-285.

[6] X. S. Han, H. B. Gooi, and D. S. Kirschen, Dynamic economic dispatch: Feasible and optimal solutions, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 16, February 2001, pp. 22-28.

[7] R. A. Jabr, A. H. Coonick, and B. J. Cory, A study of the homogeneous algorithm for dynamic economic with network constraints and transmission losses, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, May 2000, pp. 605-611.

[8] P. Attaviriyapap, H. Kita, E. Tanaka, and J. Hasegawa, A Hybrid EP and SQP for Dynamic Economic Dispatch With Nonsmooth Fuel Cost Function, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 17, No. 2, May 2002, pp. 411-416.

[9] A. Jabr, H. Coonick, and J. Cory, A homogeneous linear programming algorithm for the security constrained economic dispatch problem, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 15, No. 3, May 2000, pp. 930-937.

[10] C. Chen, Non-convex economic dispatch: a direct search approach, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 1, 2007, pp. 219-225.

[11] A. Keib, H. Ma, and J. Hart, Environmentally constrained economic dispatch using the Lagrangian relaxation method, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9, No. 4, 1994, pp. 1723-1730.

[12] L. Papageorgiou, and E. Fraga, A mixed integer quadratic programming formulation for the economic dispatch of generators with prohibited operating zones, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 77, No. 10, 2007, pp. 1292-1298.

[13] G. Granelli, and M. Montagna, Security-constrained economic dispatch using dual quadratic programming, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 56, No. 1, 2000, pp. 71-80.

[14] X. Yuan, L. Wang, Y. Yuan, Y. Zhang, B. Cao, and B. Yang, modified differential evolutions approach for dynamic economic dispatch with valve-point effects, *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, 2008, pp. 3447-3453.

[15] J. Cai, X. Ma, and L. Li, Chaotic particle swarm optimization for economic dispatch considering the generator constraints, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 2, 2007, pp. 645-653.

[16] X. Yuan, A. Su, Y. Yuan, H. Nie, and L. Wang, An improved PSO for dynamic load dispatch of generators with valve-point effects, *Energy*, Vol. 34, 2009, pp. 67-74.

[17] Z. Gaing, Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, No. 3, 2003, pp. 1187-1195.

[18] C. K. Panigrahi, P. K. Chattopadhyay, and R. Chakrabarti, Load dispatch and PSO algorithm for DED control, *International Journal of Automation and Control*, Vol. 1, No. 2-3, 2007, pp. 182-194.

[19] S. Pothiya, I. Ngamroo, and W. Kongprawechnon, Application of multiple tabu search algorithm to solve dynamic economic dispatch considering generator constraints, *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, 2008, pp. 509-516.

جدول ۳: اطلاعات بار مورد تقاضا با افق زمانی ۲۴ ساعته برای سیستم شش واحد مورد مطالعه

بار	ساعت	بار	ساعت	بار	ساعت	بار	ساعت
(مگاوات)		(مگاوات)		(مگاوات)		(مگاوات)	
۱۱۵۹	۱۹	۱۱۹۰	۱۳	۹۸۹	۷	۹۵۵	۱
۱۰۹۲	۲۰	۱۲۵۱	۱۴	۱۰۲۳	۸	۹۴۲	۲
۱۰۲۳	۲۱	۱۲۶۳	۱۵	۱۱۲۶	۹	۹۲۵	۳
۹۸۴	۲۲	۱۲۵۰	۱۶	۱۱۵۰	۱۰	۹۳۰	۴
۹۷۵	۲۳	۱۲۲۱	۱۷	۱۲۰۱	۱۱	۹۳۵	۵
۹۶۰	۲۴	۱۲۰۲	۱۸	۱۲۳۵	۱۲	۹۶۳	۶

جدول ۴: نتایج IPSO برای مسئله پخش بار اقتصادی پویا و مقایسه نتایج حاصل از آن با روش های دیگر برای یک سیستم شش واحد

روش بکاررفته	روش تکرار لامبدا	روش برنت	روش پیشنهادی
حدافل هزینه	۳۱۳۴۰۵/۶۴۸	۳۱۳۴۰۵/۴۰۳	۳۱۳۴۰۱/۴۲۶

۵. نتیجه گیری

مسئله پخش بار اقتصادی پویا روشی برای زمان بندی خروجی های ژنراتور با بارهای مورد تقاضای پیش بینی شده، در طی یک بازه زمانی معین، به منظور اقتصادی تر نمودن بهره برداری از سیستم قدرت می باشد. این مسئله یک مسئله بهینه سازی دینامیک است که فیود تحمیلی بر عملکرد سیستم را به وسیله حدود نرخ شیب ژنراتور به حساب می آورد. مسئله پخش بار اقتصادی پویا نه تنها دقیق ترین فرمول بندی برای مسئله پخش بار اقتصادی است، بلکه به خاطر ابعاد زیاد آن، سخت ترین نوع برای حل نیز به شمار می آید. این مقاله یک الگوریتم ابتکاری جدید که IPSO نامیده می شود ارائه می کند و از آن برای حل مسئله پخش بار اقتصادی پویا استفاده می کند. IPSO در مقایسه با الگوریتم های دیگر ساده تر مدلسازی می گردد. برای نشان دادن تاثیر IPSO در حل مسئله پخش بار اقتصادی پویا، یک سیستم قدرت شش واحد مورد آزمایش قرار گرفت. در مقایسه با نتایج سایر روش ها، IPSO می تواند مسئله بهینه سازی را دقیقتر و در زمان کوتاهتری حل کند.

مراجع

[1] H. Saadat, *Power System Analysis*, (McGraw-Hill, New York, 1999).

- dispatch and unit commitment, *Neurocomputing*, Vol. 70, No. 1, 2006, pp. 119-129.
- [30] S. Balakrishnan, P. Kannan, and C. Aravindan, On-line emission and economic load dispatch using adaptive Hopfield neural network, *Applied Soft Computing*, Vol. 2, No. 4, 2003, pp. 297-305.
- [31] T. Jayabarathi, K. Jayaprakash, and D. Jeyakumar, Evolutionary programming techniques for different kinds of economic dispatch problems, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 73, No. 2, 2005, pp. 169-176.
- [32] P. Somasundaram, and K. Kuppusamy, Application of evolutionary programming to security constrained economic dispatch, *Electric Power Energy Systems*, Vol. 27, No. 5, 2005, pp. 343-351.
- [33] N. Sinha, R. Chakrabarti, and P. Chattopadhyay, Evolutionary programming technique for economic load dispatch, *IEEE Trans Evolutionary Computing*, Vol. 7, No. 1, 2003, pp. 83-94.
- [34] A. Pathom, K. Hiroyuki, and T. Eiichi, A hybrid EP and SQP for dynamic economic dispatch with nonsmooth fuel cost function, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 17, No. 2, 2002, pp. 411-416.
- [35] M. Basu, Dynamic economic emission dispatch using evolutionary programming and fuzzy satisfying method, *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, Vol. 8, No. 4, 2007, pp. 1-15.
- [36] K. Chandram, N. Subrahmanyam, and M. Sydulu, Brent method for Dynamic Economic Dispatch with Transmission Losses, *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 8, No. 1, Winter-Spring 2009, pp. 16-22.
- [37] S. K. Wang, J. P. Chiou and C. W. Liu. Non-smooth/non-convex economic dispatch by a novel hybrid differential evolution algorithm, *IET Generation, Transmission, and Distribution*, Vol. 1, No. 5, 2007, pp. 793-803.
- [20] F. Li, R. Morgan, and D. Williams, Hybrid genetic approaches to ramping rate constrained dynamic economic dispatch, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 43, 1997, pp. 97-103.
- [21] S. Baskar, P. Subbaraj, and M. Rao, Hybrid real coded genetic algorithm solution to economic dispatch problem, *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 29, No. 3, May 2003, pp. 407-419.
- [22] M. Basu, Dynamic economic emission dispatch using nondominated sorting genetic algorithm-II, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 30, 2008, pp. 140-149.
- [23] C. Chiang, Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units with valve-point effects and multiple fuels, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 20, No. 4, 2005, pp. 1690-1699.
- [24] W. Ongsakul, and J. Tippayachai, Parallel micro genetic algorithm based on merit order loading solutions for constrained dynamic economic dispatch, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 61, No. 2, 2002, pp.77-88.
- [25] J. Won, and Y. Park, Economic dispatch solutions with piecewise quadratic cost functions using improved genetic algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 25, No. 5, 2003, pp. 355-361.
- [26] F. Li, and R. K. Aggarwal, Fast and accurate power dispatch using a relaxed genetic algorithm and a local gradient technique, *Expert System with Applications*, Vol. 19, 2000, pp. 159-165.
- [27] C. K. Panigrahi, P. K. Chattopadhyay, R. N. Chakrabarti, and M. Basu, Simulated annealing technique for dynamic economic dispatch, *Electric Power Components and Systems*, Vol. 34, No. 5, 2006, pp. 577-586.
- [28] A. Y. Abdelaziz, M. Z. Kamh, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, A hybrid HNN-QP approach for dynamic economic dispatch problem, *Electric Power System Research (EPSR)*, Vol. 78, No. 10, 2008, pp. 1784-1788.
- [29] K. Swarup, and P. Simi, Neural computation using discrete and continuous Hopfield networks for power system economic